



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

①2 **Offenlegungsschrift**
①0 **DE 197 20 049 A 1**

⑤7 Int. Cl.⁶:
G 01 B 21/04
G 01 B 5/008
// B25J 9/00

②1 Aktenzeichen: 197 20 049.4
②2 Anmeldetag: 14. 5. 97
④3 Offenlegungstag: 19. 11. 98

DE 197 20 049 A 1

⑦1 Anmelder:
Leitz-Brown & Sharpe Meßtechnik GmbH, 35578
Wetzlar, DE

⑦4 Vertreter:
Knefel, C., Dipl.-Phys., Pat.-Anw., 35578 Wetzlar

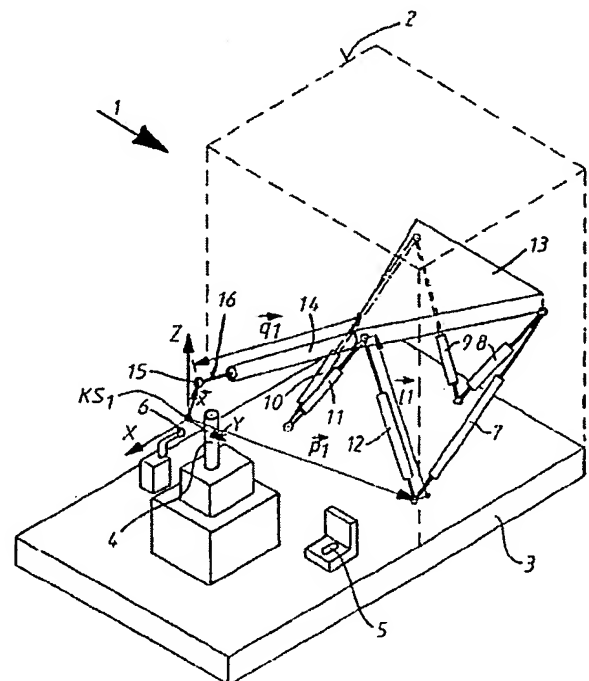
⑦2 Erfinder:
Röhr, Heinz, Dipl.-Math., 35578 Wetzlar, DE

⑤6 Entgegenhaltungen:
DE 41 26 337 C2
DE 1 95 34 535 A1
DE 40 05 292 A1
DE 37 40 070 A1
EP 06 84 448 A2

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

- ⑤4 Verfahren zur Steuerung eines motorischen Koordinatenmeßgerätes sowie Koordinatenmeßgerät zur Durchführung des Verfahrens
- ⑤7 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung eines motorischen Koordinatenmeßgerätes mit mehr als einem rotatorischen Freiheitsgrad, bei dem die allgemeine Bewegung des Tastkopfes relativ zum Werkstück in eine translatorische und eine rotatorische Bewegung aufgespalten wird, wobei die Aufspaltung unabhängig von den Antriebsachsen wählbar ist. Die Erfindung betrifft auch eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens (Figur).



DE 197 20 049 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung eines motorischen Koordinatenmeßgerätes sowie ein Koordinatenmeßgerät zur Durchführung des Verfahrens.

Zum Stand der Technik gehören Koordinatenmeßgeräte, welche aus einem Stativ, einem Tastsystem, einer häufig separaten Versorgungs- und Steuereinheit, zumeist einem transportablen Bedienpult und einem oft ebenfalls separaten Auswerterechner bestehen. Zur Lösung der Aufgabe, den Tastkopf meßbar relativ zum Werkstück zu bewegen, besteht das Stativ bei einem Koordinatenmeßgerät konventioneller Bauart aus drei senkrecht aufeinander aufbauenden Linear-Achsen, die eine translatorische Bewegung des Tastkopfes mit drei Freiheitsgraden relativ zum Werkstück realisieren.

Bei vielen Meßaufgaben reichen die drei translatorischen Freiheitsgrade jedoch nicht aus. So ist beispielsweise bei Messungen an Werkstücken mit schraubenartiger Form eine Drehachse günstig, zum Teil sogar unabdingbar für eine praxisgerechte Durchführung der Messung. Auch wenn an einem Werkstück in verschiedenen orientierten Bohrungen gemessen werden soll, so kann entweder für jede Bohrungsorientierung ein eigener Taster eingewechselt beziehungsweise in einem Tasterbaum angeordnet werden, oder ein einziger Taster mit Hilfe einer Drehschwenkeinrichtung jeweils entsprechend orientiert werden. Da manche Tastköpfe nur leichte, einfache Taster zulassen und ein Tasterwechsel zeitaufwendig ist, ist der Gebrauch von Drehschwenkeinrichtungen zur Orientierung des Tasters oder des Tastkopfes weit verbreitet, obwohl dadurch häufig Genauigkeit und Dynamik des Koordinatenmeßgerätes eingeschränkt werden.

Bei der Verwendung von optischen Sensoren, deren Achse nahezu senkrecht zur Werkstückoberfläche orientiert werden muß, ist bei einem konventionellen Koordinatenmeßgerät der Einsatz einer Drehschwenkeinrichtung, die zwei zusätzliche Freiheitsgrade bietet, unumgänglich. Wünschenswert ist bei Sensoren mit nichtrotationssymmetrischer Charakteristik, wie bei den meisten Triangulationssensoren, ein zusätzlicher dritter rotatorischer Freiheitsgrad, die Rotation um die Längsachse des Sensors, um die Beobachtungsrichtung des Sensors mit Bezug zur Oberflächenstruktur zu orientieren.

Ein weiteres Beispiel für eine Meßaufgabe, bei der drei translatorische Freiheitsgrade nicht ausreichen, ist die Antastung von tiefen, engen Bohrungen in einem Werkstück. Hierbei tritt häufig das Problem auf, daß nicht nur die Tastkugel Kontakt mit dem Werkstück hat, sondern daß häufig auch der Schaft, auf dem die Tastkugel angeordnet ist, das Werkstück berührt. Da diese Schaftantastungen vermieden werden sollen, werden enge Bohrungen derart angeastet, daß der Taststift schräg antastet, so daß die Tastkugel mit dem Werkstück in Berührung kommt, daß aber eine Schaftberührung mit dem Werkstück vermieden wird. Diese Antastung kann nur mit einem Koordinatenmeßgerät durchgeführt werden, welches wenigstens zwei rotatorische Freiheitsgrade aufweist.

Es sind Koordinatenmeßgeräte bekannt, die mehr als die drei translatorischen Freiheitsgrade aufweisen, insbesondere solche in Gelenkarm- oder Hexapodbauweise (DE 195 34 535.5). Besonders vorteilhaft ist aus den oben genannten Gründen hierbei eine Bauweise, die alle drei translatorischen und drei rotatorischen Freiheitsgrade für die Relativbewegung von Tastkopf und Werkstück zuläßt.

Hierbei tritt jedoch das Problem auf, daß, anders als bei einem konventionellen kartesischen Koordinatenmeßgerät, auch für die Ausführung einer geometrisch einfachen Bewegung in der Regel eine gekoppelte Bewegung mehrerer

Achsen stattfinden muß. Die Bedienung eines Koordinatenmeßgerätes mit allen sechs Freiheitsgraden stellt daher besondere Anforderungen. Insbesondere erschwert die Verknüpfung von rotatorischen und translatorischen Bewegungen und das Fehlen erkennbarer Drehachsen die praktische Nutzung der rotatorischen Freiheitsgrade.

Das der Erfindung zugrunde liegende technische Problem besteht darin, ein Verfahren zur Steuerung eines Koordinatenmeßgerätes mit mehr als einem rotatorischen Freiheitsgrad, vorzugsweise mit drei translatorischen und drei rotatorischen Freiheitsgraden anzugeben, das es gestattet, alle Freiheitsgrade vorteilhaft zur Lösung von Meßaufgaben einzusetzen, wobei die Bedienung nicht mehr Unterschiede zu der Bedienung eines konventionellen Koordinatenmeßgerätes aufweist als unbedingt notwendig. Insbesondere soll auch eine Betriebsart ermöglicht werden, die sich in der Bedienung von der eines konventionellen Koordinatenmeßgerätes nicht unterscheidet. Darüber hinaus soll eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens angegeben werden.

Dieses technische Problem wird durch die Merkmale des Anspruchs 1 sowie durch die Merkmale der Ansprüche 15 oder 17 gelöst.

Dadurch, daß bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Steuerung eines motorischen Koordinatenmeßgerätes mit mehr als einem rotatorischen Freiheitsgrad eine Aufspaltung der allgemeinen Bewegung des Tastkopfes relativ zum Werkstück in eine translatorische und eine rotatorische Bewegung vorgenommen wird, und daß die Aufspaltung unabhängig von den Antriebsachsen gewählt werden kann, ist eine einfache Bedienung des Koordinatenmeßgerätes unter Ausnutzung sämtlicher Freiheitsgrade möglich.

Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht den Einsatz bestehender Meßprogramme für konventionelle Koordinatenmeßgeräte sowie die Ausführung von Messungen zum Nachweis der Genauigkeit des Koordinatenmeßgerätes gemäß für konventionelle Koordinatenmeßgeräte aufgestellten Normen. Darüber hinaus ist das erfindungsgemäße Verfahren auch bei Koordinatenmeßgeräten mit weniger als sechs Freiheitsgraden in bestimmten Fällen vorteilhaft.

Nach dem erfindungsgemäßen Verfahren werden bei einem motorisch angetriebenen Koordinatenmeßgerät die Sollwerte für die Bewegung des Tastkopfes relativ zum Werkstück einer Transformation unterworfen, aufgrund derer die einzelnen Achsen so angesteuert werden, daß der Tastkopf die gewünschte Bewegung ausführt. Die Sollwerte werden dabei beispielsweise durch ein automatisch ablaufendes Programm (CNC-Betrieb), durch direkte Tastatureingabe oder auch über Steuerhebel (Handbetrieb) eingegeben. Im CNC-Betrieb werden in der Regel Positionen und Orientierungswinkel für den Tastkopf vorgegeben, im Handbetrieb kartesische und/oder Winkelgeschwindigkeiten.

Die allgemeine Bewegung eines starren Körpers im Raum läßt sich beschreiben als Translation und Rotation mit jeweils drei Freiheitsgraden. Die Translation kann aus drei Translationen jeweils in Richtung kartesischer Koordinatenachsen zusammengesetzt werden, und die Rotation kann aus drei aufeinander folgenden Drehungen um festgelegte Achsen aufgebaut werden. Der Betrag und die Richtung der Translation hängt dabei von der Lage der Drehachsen ab.

Erfindungsgemäß können Lage und Richtung der Drehachsen für die Ausführung einer rotatorischen Bewegung in einer der konkreten Aufgabe angepaßten Weise gewählt werden. Soll beispielsweise zur Vermeidung von Schaftantastungen die Richtung des Taststiftes geändert werden, während dieser in eine Bohrung eingesenkt ist, so wird als Zentrum der Drehbewegung der Tastkugel-Mittelpunkt gewählt oder ein Punkt der Taststiftachse. Bei rotationssym-

metrischen Werkstücken kann hierfür ein Punkt auf der Symmetrieachse des Werkstückes günstig sein. In der Regel wird es jedoch vorteilhaft sein, wenn der Drehpunkt mit dem aktuellen Tastkugel-Mittelpunkt zusammenfällt.

Erfindungsgemäß wird die Lage und Richtung der Drehachsen von Hand gewählt, oder sie werden automatisch eingestellt. Die Lage und Richtung der Drehachsen werden vorteilhaft einmal für jeden Meß- oder Lernlauf oder nur für einen Meß- oder Lernlauf oder nur für einen Teil davon oder nur für jede einzelne rotatorische Bewegung festgelegt.

Da bei einem Koordinatenmeßgerät mit sechs Freiheitsgraden, beispielsweise bei einem Koordinatenmeßgerät der unten beschriebenen Hexapodbauweise, in der Regel die rotatorische Stellung des Tastkopfes bezüglich Rotation um seine eigene Achse schwer erkennbar ist, muß die Definition der Drehachsen für die Handsteuerung hiervon möglichst unabhängig sein. Als Parameter für die Beschreibung der rotatorischen Bewegung werden daher Azimut und Elevation der Tastkopfachse bezüglich einer Basisebene des Koordinatenmeßgerätes sowie die Eigenrotation des Tastkopfes um die Tastkopfachse bevorzugt und als Geschwindigkeitsparameter die zeitliche Ableitung dieser Winkel. Die Basisebene des Koordinatenmeßgerätes ist, beispielsweise die Werkstückaufnahme oder auch eine kinematische Basisfläche, etwa die Ebene der Anlenkpunkte der Hexapodenbeine.

Die Geschwindigkeitsparameter für die rotatorische Bewegung werden durch dieselben Bedienelemente eingegeben wie die für die translatorische Bewegung, wobei die Bedienelemente umschaltbar sind. Die Geschwindigkeitsparameter für die rotatorische Bewegung können erfindungsgemäß aber auch durch unterschiedliche Bedienelemente eingegeben werden. Die Bedienelemente sind vorteilhaft als Steuerhebel ausgebildet. Es sind aber auch andere Bedienelemente denkbar, beispielsweise ein Modell des Tastkopfes oder der Plattform eines Hexapod-Koordinatenmeßgerätes, das direkt die Vorgabe der Orientierung und/oder der Position des Tastkopfes im Raum oder auch der translatorischen und/oder rotatorischen Geschwindigkeiten erlaubt.

Erfindungsgemäß werden bei einer rotatorischen Bewegung, wenn der Drehpunkt im Tastkugel-Mittelpunkt liegt, keine Anstapunkte aufgenommen. Nach Ausführung einer rotatorischen Bewegung oder vor einer erneuten Anpassung oder bei Auswertung der entsprechenden Meßpunkte wird eine Anpassung des Meßsystems an die Orientierung des Tastkopfes vorgenommen oder verrechnet, beispielsweise ein Tastergewichtsausgleich, eine Tasterlagekorrektur oder eine der Orientierung entsprechende Biegeungskorrektur.

Durch Tastendruck oder Software-Kommando ist in jeder translatorischen Position die Rückkehr zur rotatorischen Null-Stellung bezüglich der Eigenrotation des Tastkopfes oder bezüglich aller Winkel-Freiheitsgrade möglich.

Bei translatorischer Bewegung ist die Bedienung gleich der eines konventionellen Koordinatenmeßgerätes ohne rotatorischen Freiheitsgrade. Dieser Modus kann für Hand- und auch für CNC-Betrieb vorgegeben werden.

Das Koordinatenmeßgerät kann eine Überwachung des Meßvolumens mit Software-Endschaltern aufweisen, die der jeweiligen translatorischen und rotatorischen Stellung angepaßt reagieren. Die Software-Endschalter lassen eine abgestufte Reaktion, je nach Betriebsart (Hand- oder CNC-Steuerung, langsame oder schnelle Fahrt, Positionieren oder Antasten) zu.

Das Koordinatenmeßgerät ist vorteilhaft ein Koordinatenmeßgerät in Hexapodbauweise, in Hexapodbauweise mit eingeschränkten Freiheitsgraden oder in Gelenkarmbauweise, gegebenenfalls mit zusätzlichem Drehtisch und/oder Drehschwenkeinrichtung.

Das Koordinatenmeßgerät kann aber auch ein kartesi-

sches Koordinatenmeßgerät mit Drehschwenkeinrichtung sein, gegebenenfalls mit zusätzlichem Drehtisch.

Die Aufspaltung der allgemeinen Bewegung des Tastkopfes relativ zum Werkstück in eine translatorische und eine rotatorische Bewegung, wobei die Aufspaltung unabhängig von den Antriebsachsen wählbar ist, gilt für Automatik- oder Halbautomatikbetrieb oder für die Handsteuerung.

Weitere Einzelheiten der Erfindung können den Unteransprüchen entnommen werden.

Auf der Zeichnung ist ein Ausführungsbeispiel der Erfindung dargestellt.

Die Figur zeigt ein Hexapod-Koordinatenmeßgerät (1) mit einem Gehäuse (2) und einer Grundplatte (3). Auf der Grundplatte (3) ist ein Werkstück (4) angeordnet, sowie eine Tasterwechsleinrichtung (5) und eine Kalibriekugel (6). Darüber hinaus sind auf der Grundplatte (3) längenveränderliche Beine (7 bis 12) allseitig schwenkbar gelagert angeordnet.

Die längenveränderlichen Beine (7 bis 12) sind beispielsweise mittels Hydraulikzylindern in der Länge veränderbar.

Die Beine (7 bis 12) tragen eine Plattform (13), welche wiederum einen Ausleger (14) trägt, an welchem ein Tastkopf (16) angeordnet ist.

Im folgenden wird die erfindungsgemäße Lösung der erfindungsgemäßen Aufgabenstellung für das Koordinatenmeßgerät (1) in Hexapodbauweise beschrieben. Dieses Verfahren läßt sich in analoger Weise auf andere Koordinatenmeßgeräte mit rotatorischen Freiheitsgraden anwenden, etwa auf ein Koordinatenmeßgerät in Gelenkarmbauweise oder auch auf ein kartesisches Koordinatenmeßgerät mit Dreh-Schwenk-Einrichtung.

Bei dem im folgenden beschriebenen bevorzugten Verfahren wird die Translation des Tastkopfes (16) des Koordinatenmeßgerätes durch die kartesischen Koordinaten (x, y, z) des Mittelpunktes einer Tastkugel (15) in einem beliebigen kartesischen Koordinatensystem (KS₁) beschrieben, das fest mit der Werkstückauflage (Maschinenkoordinatensystem) oder dem Werkstück (Objektkoordinatensystem) verbunden ist.

Es werden folgende Vektoren eingeführt (kursiv geschriebene Zeichen stellen Vektoren dar):

$\mathbf{x} = (x, y, z)^T$ Vektor vom Ursprung von KS₁ zum Tastkugel-Mittelpunkt;

\mathbf{p}_i Vektor vom Ursprung von KS₁ zum Basis-Anlenkpunkt von Bein i, i = 1 bis 6;

\mathbf{l}_i Vektor vom Basis-Anlenkpunkt von Bein i zum Plattform-Anlenkpunkt von Bein i, i = 1 bis 6;

\mathbf{q}_i Vektor vom Plattform-Anlenkpunkt von Bein i zum Tastkugel-Mittelpunkt, i = 1 bis 6;

\mathbf{D} Drehmatrix zur Beschreibung der Orientierung der Plattform;

$\mathbf{Q}_i = \mathbf{D}^T \cdot \mathbf{q}_i$ Vektor vom Plattform-Anlenkpunkt von Bein i zum Tastkugel-Mittelpunkt in einer definierten "Nullstellung" der Plattform, i = 1 bis 6.

\mathbf{Q}_i und \mathbf{q}_i beziehen sich auf den jeweils aktuellen Tastkugel-Mittelpunkt, das heißt, nach einem Tasterwechsel oder bei Benutzung eines anderen Tasters aus demselben Tasterbaum wird \mathbf{Q}_i von der Steuerung automatisch angepaßt. Die \mathbf{p}_i und \mathbf{Q}_i sind der Steuerung zu jedem Zeitpunkt bekannt.

Die folgenden Rechnungen gelten für ein geometrisch ideales Koordinatenmeßgerät in Hexapodbauweise; bei einem realen Koordinatenmeßgerät sind Abweichungs-Vektoren einzuführen, die beispielsweise die Abweichung der Lage der Basispunkte der Beine von der Soll-Lage beschreiben.

Es gilt dann die grundlegende Beziehung:

$$\mathbf{x} = \mathbf{p}_i + \mathbf{l}_i + \mathbf{D} \cdot \mathbf{Q}_i, i = 1, \dots, 6 \quad (1).$$

Für die Steuerung der sechs Freiheitsgrade sind im wesentlichen drei verschiedene Aufgabenstellungen zu unterscheiden:

1. Positionieren

Hierbei sind x und D vorgegeben, der Vektor x durch die kartesischen Koordinaten der Zielposition des Tastkugel-Mittelpunktes und die Drehmatrix D in bekannter Weise durch die Zielorientierung der Plattform. Die sechs Beinlängen

$$l_i = \|l_i\|, i = 1, \dots, 6,$$

sind zu berechnen, und durch Ansteuerung der entsprechenden Antriebe ist die vorgegebene Position zu erreichen. Hierfür folgt aus Gleichung (1):

$$l_i = \|x - p_i - D \cdot Q_i\|, i = 1, \dots, 6.$$

Um bei einer translatorischen Positionierung Vorgaben für die Bahn, die beispielsweise geradlinig verlaufen soll, einzuhalten, können entsprechende Zwischenpunkte berechnet werden. Ebenso können bei einer rotatorischen Positionierbewegung Zwischenorientierungen der Plattform berechnet werden. Dabei kann vorgegeben werden, ob translatorische und rotatorische Bewegungen voneinander getrennt oder gleichzeitig durchgeführt werden.

2. Antasten:

a) Antasten mit einem schaltenden Tastkopf

Aus den im Moment des Antastens gemessenen sechs Beinlängen l_1, \dots, l_6 ist die Position x des Mittelpunktes der aktuellen Tastkugel (15) zu berechnen. Dies ist aus Gleichung (1) nicht geschlossen möglich. Es sind aber Näherungs- und Iterations-Verfahren bekannt, um solche Problemstellungen zu lösen (E. M. Mikhail, F. Ackermann, Observations and Least Squares, New York 1976). Die Position x des Tastkugel-Mittelpunktes im Moment des Antastens ist dann der weiteren Auswertung durch Standardmeßsoftware zugänglich, um beispielsweise Korrekturen, wie Tastkugel-Radiuskorrektur oder Werkstück-Temperaturkompensation oder Transformationen in weitere Koordinatensysteme, durchzuführen und geometrische Elemente zu berechnen.

b) Antasten mit einem messenden Tastkopf

Mit einem messenden Tastkopf wird bei Berührung des Werkstücks in einem Intervall eine Kennlinie aufgenommen, aus der der Antastpunkt berechnet wird. Dabei kann jede einzelne, auf l_i bezogene Kennlinie ausgewertet und danach die obige Umrechnung durchgeführt oder für jeden Meßwert die obige Umrechnung durchgeführt und danach die so ermittelte Kennlinie ausgewertet werden. In beiden Fällen wird eine Position x des Tastkugel-Mittelpunktes (15) ermittelt, die, wie oben beschrieben, der weiteren Auswertung zugänglich ist.

3. Handsteuerung

Bei Handsteuerung eines motorischen Koordinatenmeßgerätes wird entweder ein handgesteuerter Meßlauf durchgeführt oder ein CNC-gesteuerter Meßlauf "gelernt". Hierbei werden translatorische oder rotatorische (Winkel-) Geschwindigkeiten durch Auslenkung von Steuerhebeln vor-

gegeben, woraus die sechs Beinlängen-Änderungsgeschwindigkeiten zu berechnen und die sechs Antriebe entsprechend anzusteuern sind. Aus Gleichung (1) folgt durch Ableitung:

$$dl_i/dt = dx/dt - dD/dt \cdot Q_i$$

und daher als Beinlängen-Änderungsgeschwindigkeit

$$dl_i/dt = (x - p_i - D \cdot Q_i) \cdot (dx/dt - dD/dt \cdot Q_i)/l_i,$$

wobei l_i und x , wie unter Punkt 1 und Punkt 2 beschrieben, berechnet und dx/dt und dD/dt unter Verwendung der Steuerhebelauslenkungen bestimmt werden. Dabei sind jeweils relativ grobe Näherungswerte ausreichend.

Zur Entlastung des Bedieners werden translatorische und rotatorische Bewegungen des Tastkopfes getrennt.

a) Handsteuerung translatorischer Bewegungen

In dieser Betriebsart haben die Steuerhebel dieselben Funktionen wie bei einem konventionellen Koordinatenmeßgerät, die Winkelgeschwindigkeiten der Plattform sind Null:

$$dD/dt = 0.$$

Auch die übrigen Funktionen des Koordinatenmeßgerätes sind weitgehend dieselben wie bei einem konventionellen Koordinatenmeßgerät. Wenn die Durchführung bestimmter Messungen an Normen gebunden ist, die für kartesischen Koordinatenmeßgeräte erstellt wurden, sollten diese Messungen in diesem Modus durchgeführt beziehungsweise gelernt werden. Derselbe Modus kann auch für den CNC-Betrieb des Koordinatenmeßgerätes gewählt werden. Dann ist die Ausführung von Meßprogrammen, die auf kartesischen Koordinatenmeßgeräten erstellt wurden, möglich, ebenso wie umgekehrt die Erstellung von Meßprogrammen für konventionelle Koordinatenmeßgeräte auf einem Hexapod-Koordinatenmeßgerät.

b) Handsteuerung rotatorischer Bewegungen

Nach Umschaltung der Steuerhebeln Winkelgeschwindigkeiten oder andere äquivalente Parameter vorgegeben. Es ist dann:

$$dx/dt = 0,$$

das heißt, der Drehpunkt ist hier der jeweils aktuelle Tastkugel-Mittelpunkt. Dies bedeutet, daß den vom Bediener veranlaßten Drehbewegungen solche Translationsbewegungen der Plattform überlagert werden, daß der Tastkugel-Mittelpunkt bezüglich KS_1 ortsfest bleibt. In diesem Modus ist dann keine Antastung möglich. Nach erneutem Umschalten können wieder translatorische Bewegungen gesteuert werden.

Die Q_i legen den Drehpunkt fest. Wenn ein anderer Drehpunkt als der aktuelle Tastkugel-Mittelpunkt gewählt werden soll, so sind für rotatorische Bewegungen alle Q_i um einen entsprechenden Vektor zu ergänzen; bei einem zum Werkstück festen Drehpunkt ist dieser Vektor von der translatorischen Stellung der Plattform abhängig, aber für die jeweilige rotatorische Bewegung fest.

Winkelparameter, die bei einem im wesentlichen horizontalen Tastkopf bei Handsteuerung für die meisten Meßaufgaben besonders günstig sind, sind Azimut und Elevation der Tastkopfachse und Eigenrotation des Tastkopfes um

diese Achse. Bei einem im wesentlichen vertikalen Tastkopf werden, um die Singularität bei senkrechter Stellung zu vermeiden, Azimut und Elevation, bezogen auf eine senkrechte Ebene, bevorzugt. Die Eigenrotation des Tastkopfes ist auch dann der dritte Parameter. Es können aber auch andere Parameter, etwa Euler-Winkel, verwendet werden.

Dieses Verfahren ermöglicht ein besonders einfaches Steuern aller Freiheitsgrade eines Koordinatenmeßgerätes in Hexapodbauweise, um diese für die Lösung von Meßaufgaben einzusetzen. Die Tatsache, daß im Gegensatz zu konventionellen Koordinatenmeßgeräten mit Drehachsen hier keine physikalischen Drehachsen vorgegeben sind, wird durch Wahl des Tastkugel-Mittelpunktes als Drehpunkt genutzt. Falls notwendig, können auch andere Drehpunkte oder sich nicht schneidende Drehachsen, beispielsweise werkstück- oder raumfeste Drehachsen vorgegeben werden. Dann kann auch ein Antasten im rotatorischen Modus erlaubt sein.

Bezugszeichenliste

- 1 Koordinatenmeßgerät
- 2 Gehäuse
- 3 Grundplatte
- 4 Werkstück
- 5 Tasterwechsleinrichtung
- 6 Kalibrierkugel
- 7 bis 12 Beine
- 13 Plattform
- 14 Ausleger
- 15 Tastkugel
- 16 Tastkopf
- x Vektor

Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung eines motorischen Koordinatenmeßgerätes mit mehr als einem rotatorischen Freiheitsgrad, dadurch gekennzeichnet,
 - daß die allgemeine Bewegung des Tastkopfes relativ zum Werkstück in eine translatorische und eine rotatorische Bewegung aufgespalten wird,
 - daß die Aufspaltung unabhängig von den Antriebsachsen wählbar ist,
 - daß die translatorische Bewegung und die rotatorische Bewegung des Tastkopfes durch geeignete Koordinaten beschrieben werden,
 - daß die Antriebe des Koordinatenmeßgerätes durch eine Steuerung des Koordinatenmeßgerätes entsprechend in den gewählten Koordinaten gegeben oder in die gewählten Koordinaten umgerechneten Sollwerten angesteuert werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß Abweichungsvektoren eingeführt werden, die ein reales Koordinatenmeßgerät (1) wiedergeben und daß die Abweichungsvektoren bei der Steuerung der Bewegung des Koordinatenmeßgerätes (1) berücksichtigt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Aufspaltung für Automatikbetrieb oder Halbautomatikbetrieb oder bei Handsteuerung vorgenommen wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Lage und/oder die Richtung der Drehachsen unabhängig von den Antriebsachsen gewählt werden.
5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Lage und/oder die Richtung der Drehach-

sen von Hand gewählt werden oder automatisch eingestellt werden.

6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Lage und/oder die Drehachsen für einen Meß- oder Lernlauf oder für einen Teil des Meß- oder Lernlaufes oder für jede einzelne rotatorische Bewegung oder einmal generell für jeden Meß- oder Lernlauf festgelegt werden.

7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Lage und/oder Richtung der Drehachsen im Maschinen- oder im Werkstück-Koordinatensystem festgelegt werden.

8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Drehachsen durch den Mittelpunkt einer jeweils aktuellen Tastkugel (15) oder durch einen Referenzpunkt am Tastkopf (16) oder durch einen genähernten Antastpunkt oder durch einen Punkt auf einer Symmetrieachse des Werkstückes verlaufen.

9. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Parameter für die Beschreibung der rotatorischen Bewegung Azimut und Elevation der Tastkopf-achse bezüglich einer Basisebene des Koordinatenmeßgerätes und die Eigenrotation des Tastkopfes um die Tastkopf-achse verwendet werden, und daß als Geschwindigkeitsparameter die zeitliche Ableitung dieser Winkel verwendet werden.

10. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer rein rotatorischen Bewegung keine Antastpunkte aufgenommen werden.

11. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß nach Ausführung einer rotatorischen Bewegung oder vor einer erneuten Antastung oder bei Auswertung der entsprechenden Meßpunkte eine Anpassung des Meßsystems an die Orientierung des Tastkopfes vorgenommen oder verrechnet wird.

12. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein Tastergewichtsausgleich, eine Tasterlagekorrektur und/oder eine der Orientierung entsprechende Biegekorrektur vorgenommen wird.

13. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß in jeder translatorischen Position eine Rückkehr zur rotatorischen Null-Stellung bezüglich der Eigenrotation des Tastkopfes oder bezüglich aller Winkelfreiheitsgrade durchführbar ist, und daß die Durchführung durch Tastendruck oder Software-Kommando gestartet wird.

14. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Bedienung des Koordinatenmeßgerätes (1) bei translatorischer Bewegung gleich der Bedienung eines konventionellen Koordinatenmeßgerätes ohne rotatorische Freiheitsgrade ist.

15. Koordinatenmeßgerät zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Koordinatenmeßgerät (1) ein Koordinatenmeßgerät in Hexapodbauweise, ein Koordinatenmeßgerät in Hexapodbauweise mit eingeschränkten Freiheitsgraden oder ein Koordinatenmeßgerät in Gelenkarmbauweise ist.

16. Koordinatenmeßgerät nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß das Koordinatenmeßgerät (1) einen zusätzlichen Drehtisch und/oder eine Drehschwenkeinrichtung aufweist.

17. Koordinatenmeßgerät zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Koordinatenmeßgerät als ein kartesisches Koordinatenmeßgerät mit Drehschwenkeinrichtung ausgebildet ist.

18. Koordinatenmeßgerät nach Anspruch 17, dadurch

gekennzeichnet, daß das Koordinatenmeßgerät einen zusätzlichen Drehtisch aufweist.

19. Koordinatenmeßgerät nach Anspruch 15 oder 17 dadurch gekennzeichnet, daß das Koordinatenmeßgerät (1) Bedienelemente für die Eingabe der Geschwindigkeitsparameter für die rotatorische Bewegung und für die Eingabe der Geschwindigkeitsparameter für die translatorische Bewegung aufweist, und daß die Bedienelemente umschaltbar ausgebildet sind.

20. Koordinatenmeßgerät nach Anspruch 15 oder 17, dadurch gekennzeichnet, daß das Koordinatenmeßgerät (1) Bedienelemente für die Eingabe der Geschwindigkeitsparameter für die rotatorische Bewegung aufweist, und daß weitere Bedienelemente für die Eingabe der Geschwindigkeitsparameter für die translatorische Bewegung vorgesehen sind.

21. Koordinatenmeßgerät nach Anspruch 19 oder 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Bedienelemente als Steuerhebel ausgebildet sind.

22. Koordinatenmeßgerät nach Anspruch 19 oder 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Bedienelemente als Modell des Koordinatenmeßgerätes zur Vorgabe von jeweils drei Parametern für Position, Orientierung, translatorischer Geschwindigkeit oder Drehgeschwindigkeit ausgebildet sind.

23. Koordinatenmeßgerät nach Anspruch 15 oder 17, dadurch gekennzeichnet, daß das Koordinatenmeßgerät (1) Software-Endschalter für die Überwachung des Meßvolumens aufweist, und daß die Software-Endschalter als auf die jeweilige translatorische und rotatorische Stellung der Plattform angepaßt reagierende Endschalter ausgebildet sind.

24. Koordinatenmeßgerät nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Software-Endschalter als eine abgestufte Reaktion je nach Betriebsart zulassende Endschalter ausgebildet sind.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

40

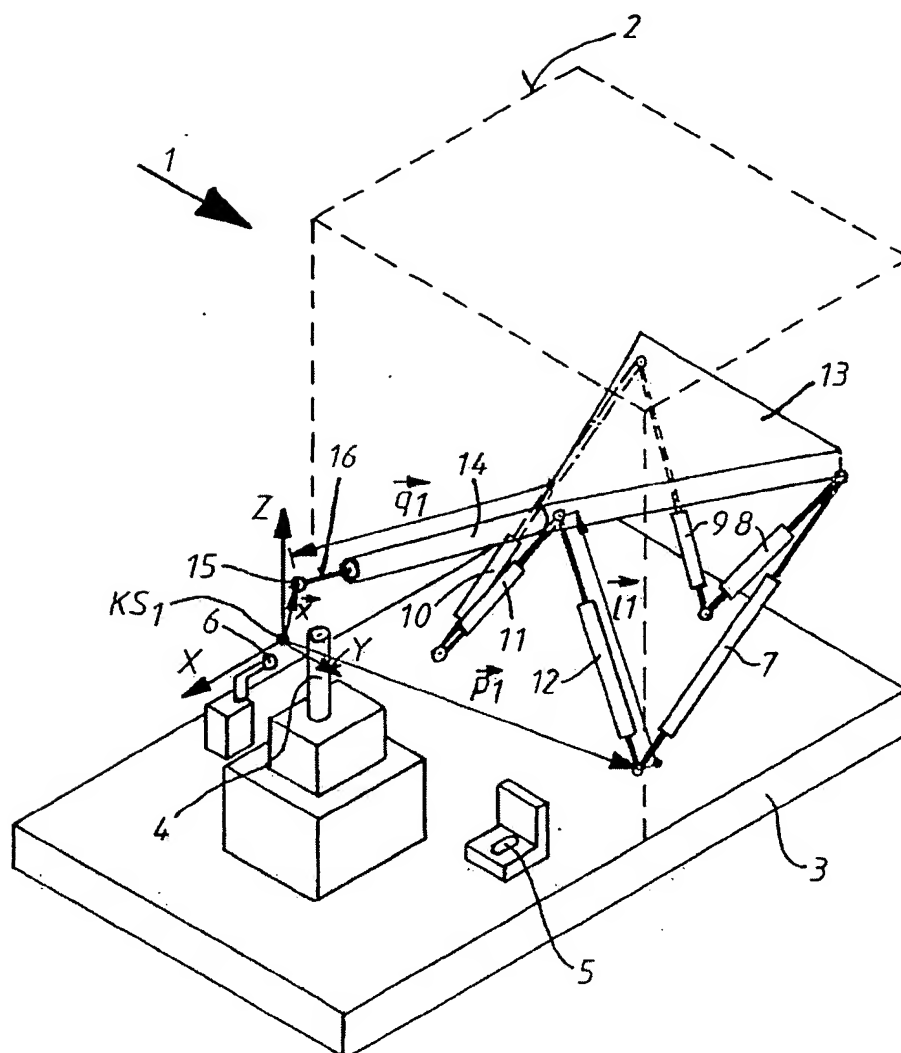
45

50

55

60

65



802 047/172